

Harri Piispa

Konepajahallin LV-laitteiston energia- tehokkuuden parantaminen

Opinnäytetyö
Talotekniikankoulutusohjelma


Toukokuu 2013




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä 15.5.2013	
Tekijä(t) Harri Piispa		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikan koulutusohjelma	
Nimeke Konepajahallin LV-laitteiston energiatehokkuuden parantaminen			
Tiivistelmä <p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Pel-Tuote Oy:n konepajahallien lämmitysjärjestelmän energiatehokkuutta. Työn tavoitteena oli luoda parannusehdotus, jolla voitaisiin vähentää lämmityksen kuluttamaa energiaa ja kartoittaa lämmityskattilan huipputehontarve yritykseen rakennettavan uuden maalaamotilan lämmitykseen.</p> <p>Kohteessa tehtiin tarkastuskierros LV-laitteiston osalta. Tarkastuskierroksen pohjalta laadittiin parannusehdotus, jonka mukaisilla toimenpiteillä pyrittiin vähentämään konepajahallien lämmitysenergiankulutusta sekä kartoittamaan lämmityskattilan huipputehontarve yritykseen rakennettavan uuden maalaamotilan lämmitykseen. Aikaisemmasta lämmitys energiankulutuksesta saatiin tieto asiakkaalta, jota vertailtiin laskelmoituihin tuloksiin.</p> <p>Työn tulokseksi parannusehdotusten perusteella lämmitysjärjestelmä säädettiin kokonaisuudessaan, lämmityksen säätöautomaatio kytkettiin käyttöön ja lämmitysverkoston runkojohdot eristettiin. Toimenpiteillä oli huomattavat lämmitysenergiesäästöt ja kattilan kokonaistehontarpeen aleneminen.</p> <p>Tutkimuksista pääteltiin lämmitysjärjestelmien eristuksen, säädön ja säätöautomaation olevan erittäin tärkeä osa vesikiertoisella lämmitysjärjestelmällä varustettujen rakennuksien energiataloutta.</p>			
Asiasanat (avainsanat) Lämmitysjärjestelmä, konepajahalli, energiatehokkuus			
Sivumäärä 29	Kieli Suomi	URN	
Huomautus (huomautukset liitteistä)			
Ohjaavan opettajan nimi Martti Veuro		Opinnäytetyön toimeksiantaja Pel-Tuote Oy	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis	
Author(s) Harri Piispa		Degree programme and option Building Services Engineering	
Name of the bachelor's thesis Improving the energy efficiency of the heating system in an industrial hall			
Abstract <p>This bachelor's thesis discusses the energy efficiency of the heating system used in the industrial halls owned by Pel-Tuote Oy. The aim of the present study was to create a reform proposal that could decrease the amount energy spent on heating. Another aim was to survey the maximum power demand for a heating boiler that will be used to heat an upcoming painting department of the company.</p> <p>In order to get some basic knowledge about the heating system, an inspection tour was made in the premises of the company. Based on this inspection tour, a reform proposal was made. The reform proposal includes actions that aim to decrease the amount of energy spent on heating the industrial halls. Furthermore, the proposal includes calculations about the maximum power demand for a heating boiler that will be used to heat the new painting department. The customers gave the previous heating energy costs and they were compared with the calculated results of the proposal.</p> <p>As a result, the whole heating system was adjusted, the heating automation system was attached and the main lines of the heat pipes were insulated. These actions had a remarkable effect on decreasing the amount of energy spent on heating and also on decreasing the maximum power demand of the heating boiler.</p> <p>In conclusion, it can be stated that insulation, adjustment and automation of the heating system have an important role in the energy consumption of buildings that have a hot water circulation heating system.</p>			
Subject headings, (keywords) Heating, industrial hall, energy efficiency			
Pages 29	Language Finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor Marti Veuro		Bachelor's thesis assigned by Pel-Tuote Oy	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	LVI-LAITTEIDEN ENERGIA TEHOKKUUS	2
2.1	Lämpötilat	3
2.2	Säädetty verkosto	4
2.3	Eristys ja lämpöhäviöt	5
2.4	Lämpökuormat	8
2.5	Lämpötilakerrostuma	8
3	TUTKIMUSKOHDE	11
3.1	Kohteen energiatalous	16
3.2	Lämpökontti	17
3.3	Puutteet ja korjausehdotukset	17
3.3.1	Lämmönsäätöautomaatiikka	17
3.3.2	Vesivirrat	18
3.3.3	Käyttöveden valmistus	18
3.3.4	Lämpökontti nykytilanteessa	19
3.3.5	Lämpökontti päivitettyssä tilanteessa	20
4	LVI-LAITTEIDEN ENERGIA TALOUS	21
4.1	Energiansäästö	24
4.2	Eristykset	26
5	TULOKSET	26
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	27
	LÄHTEET	29
	LIITE/LIITTEET	
	1 Yksisivuinen liite	
	2 Monisivuinen liite	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia Pel-Tuote Oy:n toimitilojen lämmitysjärjestelmän energiatehokkuutta sekä laatia tutkimuksissa havaittuihin mahdollisiin epäkohtiin parannus ehdotus. Parannusehdotuksien säästöpotentiaalin pohjalta kartoitetaan lämmityskapasiteetin riittävyys yritykseen rakennettavan uuden maalaamotilan lämmitykseen.

Tutkimuksissa selvitetään energiatalouden näkökannalta ongelmakohtien vaikutuksia lämmöntehontarpeeseen ja sitä mikä on säästötoimenpiteiden vaikutus nykyisten tuotantotilojen lämmöntarpeeseen. Tutkimuksissa käytetään kirjallisuutta, tutkitaan aihetta aikaisemmin tehtyjen tutkimusten pohjalta sekä käytännön mittaus -ja säästötoimenpiteillä.

Energiatehokkuuden kartoituksessa ilmeni suurehkoja puutteita koko lämmitysjärjestelmässä, lämmönsäätöautomaation puuttuminen kokonaisuudessaan ja vesivirtojen säätämättömyys sekä suurimmassa osassa lämpöjohtojen runkolinjoja ei ole eristeitä.

Työssä arvioidaan asiakaslähtöisesti lämmitysjärjestelmän nykytilanteen energiankäyttöä siihen, miten energiansäästötoimenpiteet vaikuttavat järjestelmän energiatehokkuuteen ja lämmityskapasiteetin riittävyys uuteen maalaamoon. Kiinteistön LV-laitteiston energiantehokkuustutkimuksesta päätellen laitteiston parannuksilla päästään kokonaisuuteen nähden huomattaviin lämpöenergiansäästöihin.

2 LVI-LAITTEIDEN ENERGIA TEHOKKUUS

Rakennusten LVI-laitteiden energiatehokkuus perustuu lämmityslaitteiston tarpeenmukaiseen mitoitukseen, säätöön ja oikeaan eristykseen. Lämmitysjärjestelmän tarkoituksena on tuottaa rakennuksen tarvitsema lämpö ja lämminkäyttövesi kaikissa suunnitteluarvojen mukaisissa olosuhteissa.

Lämmitysjärjestelmä rakentuu keskuslaitteistosta, jolla tuotetaan tarvittava lämpöenergia tilojen tarpeisiin. Tavallisemmin puhutaan kattilasta tai lämmönsiirtimestä kaukolämpökohteissa. Keskuslaitteiston yhteydessä sijaitsevat usein pumput ja säätölaitteet.

Lämpöä siirretään tiloihin siirtolaitteistoilla, jonka keskeisimmät osat ovat pumput ja putkistot sekä oikean tehomäärän siirtämiseen kullekin lämmityslaitteelle tai putkistosuudelle hoitaa linjasäätöventtiili tai termostaattinen patteriventtiili.

Samassa putkistossa olevien putkisto-osuuksien koot ja pituudet sekä lämmityslaitteet ovat harvoin yhteneväisiä kooltaan ja tehoiltaan, joten linjasäätöventtiileillä tai perussäädetyllä patteriventtiilillä voidaan hallita vesivirtoja sopiviksi, jotta saavutetaan halutut lämpötilat koko rakennukseen.

Säätölaitteistoihin kuuluu termostaatit ja lämmönsäätimet. Tarkoituksena vesikiertoisissa järjestelmissä on ohjata lämmitysjärjestelmään menevän veden lämpötilaa ulkolämpötilan tai sisälämpötilan mukaan estäen näin turhan hallitsemattoman lämmönsiirtymisen putkistosta tai lämmityslaitteista sisäilmaan.

Termostaattisia patteriventtiileitä käytetään lämpötilan säätöön tilakohtaisesti. Termostaattinen patteriventtiili on omavoimainen säätölaite, joka muodostuu venttiiliosasta ja termostaattiosasta. Termostaattisen patteriventtiilin on tarkoitus pitää sisäilman lämpötila vakiona säätämällä patterin läpi kulkevan vesivirran määrää huolimatta rakennuksen sisäisistä lämpökuormista, esimerkiksi valaistuksella tilaan aiheutetusta lämpökuormasta.

Termostaatilla varustettu magneettiventtiili on on/off -säätöinen venttiili, jota käytetään yleensä kiertoilma-kojeiden kytkennöissä. Termostaatti mittaa huoneen lämpötilaa. Termostaatin lämpötilan asetusarvon alittuessa avautuu magneettiventtiili ja kiertoilma-kojeeseen puhallin käynnistyy, kun lämmitystarvetta ei esiinny magneettiventtiili on kiinni ja puhallin on pysähtynyt.

Käyttöveden tuotanto hoidetaan myös keskuslaitteistolla ja yleensä sen sisäisellä tai ulkoisella siihen kytketyllä varaajalla, jossa on käyttövedenlämmityskierukka. Energiatehokkuuden kannalta käyttövedenlämmityksen tärkeimmät alueet on käyttöveden oikea lämpötila ja oikea eristysvahvuus. Legionella-bakteerien leviämisen ehkäisemiseksi viranomais määräyksen mukainen minimi käyttöveden lämpötila on 55 °C, ja näin ollen suurempi käyttövedenlämpötila heikentää energiatehokkuutta.

2.1 Lämpötilat

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että oleskeluvyöhykkeen viihtyisä huonelämpötila voidaan ylläpitää käyttöaikana niin, ettei energiaa käytetä tarpeettomasti. Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan lämmityskauden suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 21 °C. Oleskeluvyöhykkeen huonelämpötilan kesäkauden suunnitteluarvona käytetään yleensä lämpötilaa 23 °C. Perustellusta syystä voidaan huonelämpötila suunnitella ohje arvosta poikkeavasti. [1.]

TAULUKKO 1. Lämmityskauden huonelämpötilan tilakohtaisia ohje arvoja tiloille, joiden huonelämpötilan suunnitteluarvo ei ole 21 °C. Ohje arvoja käytettäessä on huolehdittava, ettei viereisten tilojen viihtyisyys heikkene.

Tila	Huonelämpötila °C
Porrashuone	17
Kylpyhuone, pesuhuone	22
Kuivaushuone	24
Myymlä	18
– myymälän kiinteä työpiste	21
Liikuntahalli	18
Kirkkosali	18
Tehdashalli, keskiraskas työ	17
Autokorjaamo, katsastustilat	17
Hissikuilu	17

Lämmitysjärjestelmän lämpötilat on säädettävä siten, että se kattaa mitoitusolosuhteita vastaavan lämmön tehontarpeen rakennuksissa. Mitoituksessa käytetään yleensä meno- ja paluuveden lämpötilaeroa 20 K tai 30 K.

Lämminvesilaitteisto on suunniteltava ja asennettava siten, että veden lämpötila siinä on vähintään 55 °C. Lämminvesiverkoston kiertojohdossa käytettäviä lämmönluovuttimia ei saa suunnitella käytettäväksi rakennuksen lämpöhäviöiden kattamiseen eikä lattialämmitykseen. [2.]

2.2 Säädetty verkosto

Lämmitysverkoston säätö hoidetaan rakennuksissa verkoston perussäädöllä ja rakennusautomaatiojärjestelmällä, joka säätää verkostoon menevän veden lämpötilaa ulkolämpötilan tai huonelämpötilan perusteella. Huonelämpötilaperustaisessa järjestelmässä lämmitettävän tilan keskeiselle paikalle asennetaan termostaatti, joka mittaa sisäilman lämpötilaa ja sen perusteella ohjaa lämmönsäädintä. Huonetermostaatti mittaa tilan lämpötilaa ottaen huomioon myös sisäiset lämpökuormat, joita rakennuksessa syntyy.

Lämmönsäätimelle asetettu lämpökäyrä pitää menoveden lämpötilan haluttuna kattilalaitoksissa 3-tieventtiilin avulla, joka sekoittaa viileämpää kattilalle palaavaa paluuvettä ja kuumempaa kattilavettä oikeassa suhteessa pitäen menoveden halutun lämpöisenä, koska lämmöntarve vaihtelee koko ajan ulkolämpötilan mukaan.

Ukolämpötilan mukaan säätävässä järjestelmässä ulkoilma-anturi mittaa ulkolämpötilaa ja lämmönsäädin nostaa tai laskee menoveden lämpötilaa ennalta asetetun säätökäyrän mukaan. Lämmönsäädin ohjaa 3-tie venttiiliä, joka sekoittaa meno- ja paluuvettä pitäen menoveden lämpötilan säätökäyrän mukaisessa asetusarvossa.

Säädin voi toimia tehokkaasti vain silloin, jos sen ohjaamassa säätöventtiilissä on mitoitusolosuhteita vastaava mitoitusvirtaama. Ainoa tapa mitoitusvirtaaman saavuttamiseksi on järjestelmän säätäminen. Säädetäessä järjestelmää asetellaan linjasäätöventtiileille oikeat virtaamat. Se tulee suorittaa kolmesta syystä:

1. Tuotantoyksiköt tulee säätää mitoitusvirtaamalle. Lisäksi useimmissa tapauksissa virtaama tulee jokaisessa yksikössä pitää tasaisena. Virtaaman muutokset pienentävät hyötysuhdetta, lyhentävät käyttöikää ja vaikeuttavat tehokasta säätöä.
2. Jakelujärjestelmät tulee säätää siten, että kaikki laitteet voivat saavuttaa vähintään mitoitusvirtaaman riippumatta kiinteistön kokonaiskuormituksesta.
3. Säätöpiirit tulee säätää siten, että säätöventtiileille tulee oikea työskentelyalue ja että ensiö- ja toisiovirtaamat ovat toisiaan vastaavia. [3.]

Arvioiden mukaan kolme neljäsosaa Suomen asuinrakennuskannasta on puutteellisesti perussäädetty. Perussäätämättömissä kiinteistöissä eri tilojen välisten lämpötilaerojen arvioidaan olevan keskimäärin yli 3 °C, mutta yli 6 °C:n lämpötilaerotkaan eivät ole harvinaisia. Lämmitysjärjestelmän perussäätö vaikuttaa merkittävästi lämmitysenergian kulutukseen erityisesti kiinteistöissä, joissa on useita asuntoja. Perussäädön avulla kiinteistön energiankulutusta voidaan vähentää 10–15 %. [4.]

2.3 Eristys ja lämpöhäviöt

Lämmönluovuttimet eivät yksinomaan luovuta lämpöä tilaan, vaan myös lämmönsiirtoputkistot luovuttavat lämpöä. Putkisto-osan lämmönluovutukseen vaikuttaa putken koko, materiaali ja putkiston pituus sekä putkessa virtaava aineen lämpötila ja ympäröivän tilan lämpötila.

Lämmitysjärjestelmissä ja käyttöveden kierrolla varustetuissa putkistoissa eristämättömät putkistot aiheuttavat turhaa lämmönkulutusta. Lämmityslaitteiden ja käyttöveden suunnitellun toiminnan varmistamiseksi on putkistot eristettävä, jotta virtaava aine pysyisi oikeanlämpöisenä aina kohteeseen asti. Varsinkin pitkissä runkojohdoissa tapahtuvan veden viilentymisen vuoksi lämmityslaitteille ei saavuteta oikean lämpöistä vettä.

Yleensä lämpöjohdot on sijoitettu kattoon tai seinälle hallin yläosaan. Putkien lämmönluovutusta ei pystytä kovinkaan tehokkaasti hyödyntämään työskentelyalueen lämmitykseen, koska lämmin ilma kerrostuu hallin yläosaan. [8.]

Putkiston lämmöneristys mitoitetaan ja valitaan aina tapauskohtaisesti talotekniikan hyviä rakentamistapoja noudattaen. Putkiston lämmöneristysten valintaan ja mitoitukseen löytyy RT kortti LVI 50–10345, jonka taulukko 2 antaa putkieristeiden käyttösuositukset ja RT kortti LVI 50–10344 antaa tiedot talotekniikassa yleisimmin käytetyistä eristysmateriaaleista ja niiden asennuksesta.

TAULUKKO 2. Talotekniset eristeet ja niiden tunnukset

Putkistonosa	Eriste	Sarja	Päällyste	Sijainti
Lämmitysjärjestelmät	Tunnus LVI 50-10344			
Ensiöpiirit	Aa, Ab	25	6	Näkyvä
Ensiöpiirit	Aa, Ab, Ac	23		Ei Näkyvä, nousukuilussa
Ensiöpiirit	Aa, Ab, Ac	25		Ei Näkyvä
Toisiopiirit	Aa, Ab	24	6	Näkyvä
Toisiopiirit	Aa, Ab, Ac	22		Ei Näkyvä, nousukuilussa
Toisiopiirit	Aa, Ab, Ac	24		Ei Näkyvä

Aa	Mineraalivillakouru
Ab	Mineraalivillakouru + Alumiinilaminaatti
Ac	Mineraalivillakouru + Alumiinilaminaatti + suljin
Sarja	Eristeen paksuus, kts. taulukko 2

TAULUKKO 3. Parocin taulukko eristesarjojen paksuuksista ja asennusväleistä

Putkien eristyspaksuus ja asennusvälit									
Putken halkaisija d_u mm	Eristyspaksuus mm								
	Sarja 21			Sarja 22			Sarja 23		
	s mm	a mm	b mm	s mm	a mm	b mm	s mm	a mm	b mm
10...49	20	90	50	30	110	70	40	130	80
50...89	30	110	70	40	130	80	50	150	90
90...168	40	130	80	50	150	90	60	170	100
170...324	50	150	90	60	170	100	80	210	120
325...714	60	170	100	80	210	120	100	260	140
	Sarja 24			Sarja 25			Sarja 26		
10...49	50	150	90	60	170	100	80	210	120
50...89	60	170	100	80	210	120	100	260	140
90...168	80	210	120	100	260	140	120	300	170
170...324	100	260	140	120	300	170	140	340	190
325...714	120	300	170	140	340	190	160	380	210

s	Eristeen paksuus
a	Eristettävien putkien asennusväli
b	Eristettävän putken ja kiinteän rakenteen väli

Eristetyn putken lämpöhäviöt voidaan laskea [5] kaavoilla:

$$\phi = \frac{\pi(T_s - T_u)}{\frac{1}{2 \cdot \lambda} \ln \frac{d_u}{d_s} + \frac{1}{d_u \cdot \alpha_u}} \quad (1)$$

Φ	Eristetyn putken lämpöhäviö W/m
T_s	Eristettävän kohteen sisällön lämpötila, K
T_u	Eristyksen ympäröivän ilman lämpötila, K
λ	Eristeen lämmönjohtavuus keskilämpötilassa, W/(mK)
d_u	Eristyksen ulkohalkaisija, m
d_s	Eristyksen sisähalkaisija, m
α_u	Ulkopinnan lämmönsiirtymiskerroin W/(m ² K)

Eristämättömän putken lämpöhäviöt voidaan laskea supistamalla kaavaa (1) seuraavasti:

$$\phi = \frac{\pi(T_s - T_u)}{\frac{1}{d_u \cdot \alpha_u}} \quad (2)$$

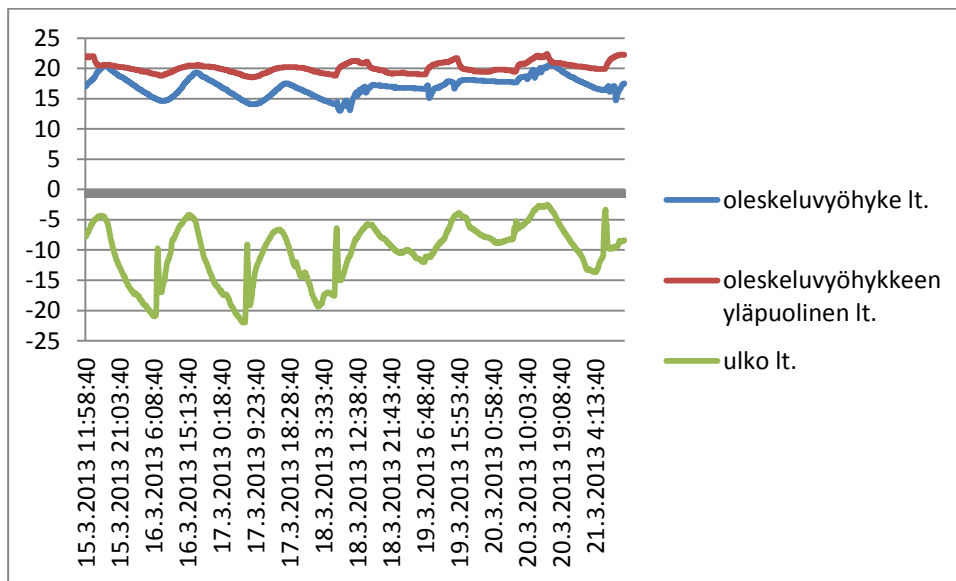
2.4 Lämpökuormat

Rakennukseen tulee lämpökuormia etenkin valaistuksesta, laitteista ja ihmisistä sekä ikkunoista sisään tulevasta auringon säteilyenergiasta, jotka voidaan osittain hyödyntää rakennuksen lämmityksessä. Lämpökuorma voidaan hyödyntää vain sillä edellytyksellä, että samanaikaisesti esiintyy lämmitystarvetta ja että säätölaitteet vähentävät muun lämmön tuottoa vastaavalla määrällä. [6.]

2.5 Lämpötilakerrostuma

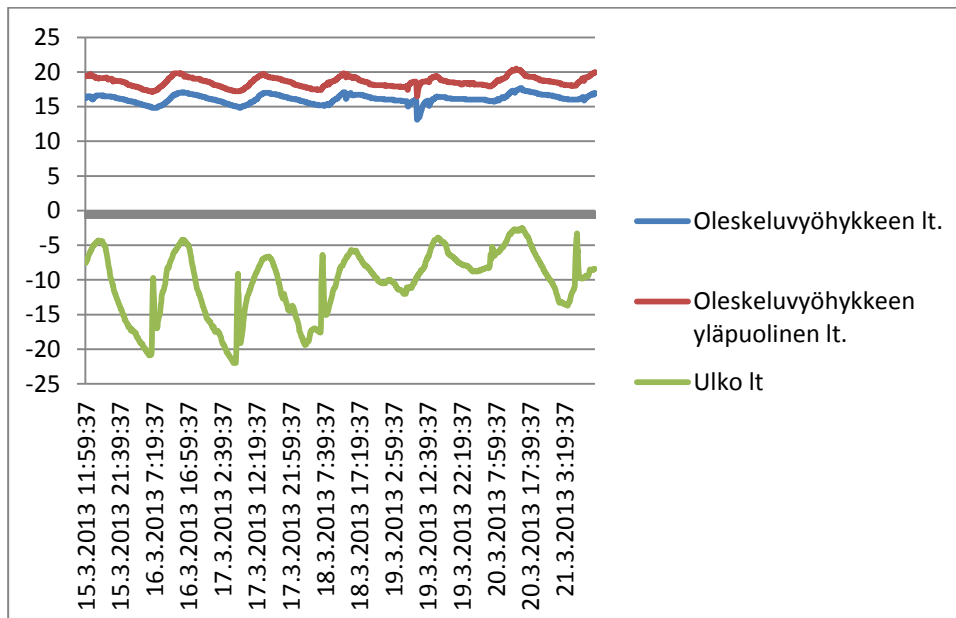
Lämmitysjärjestelmä on suunniteltava siten, että lämpötilat tiloissa on optimaaliset käyttäjän tarpeisiin sekä mahdollisesti säädettävissä käyttötarpeiden mukaan. Lämpöolojen aistiminen on henkilökohtaista eri ihmisillä. Kehon lämpötasapainon säilyttämiseksi on tärkeää saada paikalliset lämpötilaerot hallittua. Epätasaisiin lämpöoloihin voivat vaikuttaa kylmät ikkuna- ja seinäpinnat, lämmittimet tai ilmanjakotapa. Erityisesti pystysuuntaiset lämpötilaerot voidaan tuntea erittäin epämiellyttävänä. Oleskeluvyöhyke on 0,6 metriä seinästä ja 1,8 metriä lattiasta. Kansainvälisiin suosituksiin päään ja nilkkojen väliseksi lämpötilaeroksi on valittu 3 °C [5]. Tilojen lämmitys oleskeluvyöhykkeen ulkopuolelta on turhaa ja vaikuttaa suuresti energiankulutukseen rakennuksessa.

Seuraavissa taulukoissa on datalogger-mittaustuloksia kohteen rakennusten lämpötiloista noin viikon aikajanalta. Datalogger-mittarit sijoitettiin keskeiselle paikalle tilassa, oleskeluvyöhykkeen mittauspiste oli 1,1 metrin korkeudella ja enemmän kuin 0,6 metrin päässä seinästä ja oleskeluvyöhykkeen yläpuolinen mittauspiste oli tilakohtaisesti mahdollisimman korkealla.



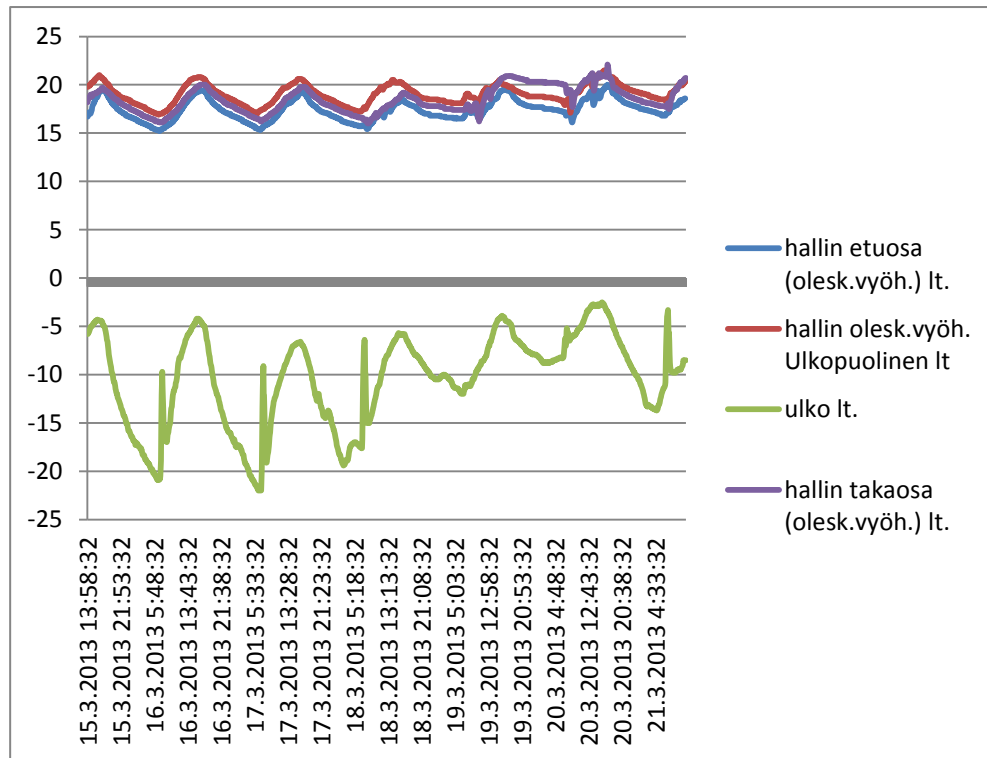
KUVA 1. Kokoonpanohalli lämpötilat

Kokoonpanohallin (kuva 7) keskilämpötila oleskeluvyöhykkeellä mittausajanjaksona oli 17 °C. Oleskeluvyöhykkeen ulkopuolinen keskilämpötila oli mittausjaksolla 20 °C.



KUVA 2. Vanhapaja lämpötilat

Vanhanpajan (kuva 5) keskilämpötila oleskeluvyöhykkeellä mittausajanjaksona oli 16,1 °C. Oleskeluvyöhykkeen ulkopuolinen keskilämpötila oli mittausjaksolla 18,6 °C.



KUVA 3. Uusi konepajahalli lämpötilat

Uuden konepajahallin (kuva 4) keskilämpötila oleskeluvyöhykkeellä hallin etuosassa mittausajanjaksona oli 17,4 °C ja takaosassa 18,5 °C. Oleskeluvyöhykkeen ulkopuolinen keskilämpötila oli mittausjaksolla 19,0 °C.

3 TUTKIMUSKOHDE

Pel-tuote Oy on maatalouskoneita valmistava metallialan yritys, jonka n. 3100 m² toimitilat sijaitsee Etelä-Savossa Rantasalmella. Yrityksen n. 3100 m² tuotantotiloista on lämmitettyä tilaa n. 2100 m² ja kylmiä varastotiloja n. 1000 m². Lämpimät tuotantotilat ovat neljässä eri rakennuksessa. Niiden lämmitys on toteutettu keskitetysti erillisestä lämpökontista, jossa on 150 kW pellettikattila. Lämmitysjärjestelmä on vesikiertoinen, ja lämmittiminä on vesiradiaattoreita sekä kiertoilmakojeita.

Kohteen uuden konepajahallin ilmanvaihto on toteutettu kierrätysilmaperiaatteella. Ilmanvaihtokoje kierrättää lämmintä poistoilmaa ilmanvaihtokojeen läpi ladaten LTO-patteria ja raittiin ilman tulo rakennukseen on jaksotettu käyttäjän mukaisesti. Ilmanvaihtokoje ei sisällä jälkilämmityspatteria, vaan raitisilma tuodaan rakennukseen alilämpöisenä, ja se on otettava huomioon tilakohtaisten lämmityslaitteiden mitoituksessa.[5.]

Uusi konepajahalli (kuva 4) on valmistunut ja otettu käyttöön 2010. Rakennus on pinta-alaltaan n. 1300 m² ja tilavuudeltaan n. 7100 m³. Pääkäyttäjinä konepajahallissa ovat siellä työskentelevät 12 tuotantotyöntekijää.

Vanhapaja (kuva 5) on entinen maatalan konepajahalli, joka on päivitetty nykyisellään olevan tuotannon puitteisiin sopivaksi metalliosien valmistuspajaksi. Vanhapajan pinta-ala on n. 250 m² ja tilavuus n. 1000 m³. Vanhassa pajassa työskentelee keskimäärin neljä työntekijää.

Toimistorakennus (kuva 6) on vanha asuinrakennus, joka on nykyisellään yrityksen toimistotiloina. Tilat on peruskorjattu vuonna 2012 ja kooltaan n. 80 m² ja 200 m³. Tiloissa työskentelee keskimäärin neljä työntekijää.

Kokoonpanohalli (kuva 7) on vuonna 1984 rakennettu navettarakennus, joka on myöhemmin uudistettu kokoonpanotuotannon tarpeisiin. 400 m²:n ja 2000 m³:n tiloissa työskentelee keskimäärin neljä työntekijää.



KUVA 4. 2010 valmistunut uusi konepajahalli



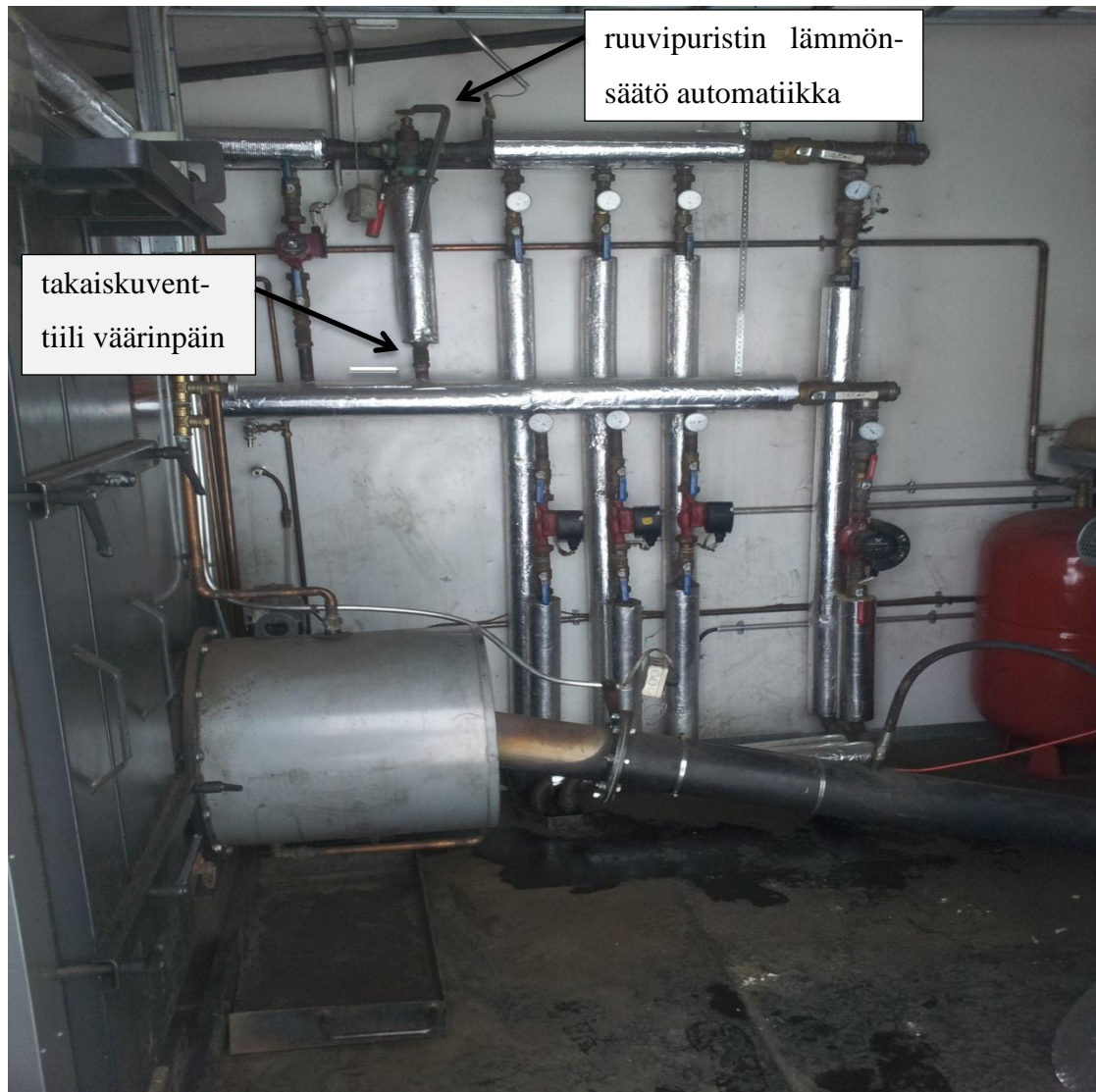
KUVA 5. 1984 valmistunut pajarakennus



KUVA 6. 2012 peruskorjattu toimistorakennus



KUVA 7. 1984 valmistunut kokoonpanorakennus (entinen navetta rakennus)



KUVA 8. Lämpökontti sisältä

3.1 Kohteen energiatalous

Nykyisellään kohteen energiatalouden arvioitiin olevan merkittävästi parannettavissa automatiikan puuttumisen, säätämättömien vesivirtojen, pitkien lämmönjakoverkoston runkojohtojen eristämättömyyden sekä 3-tieventtiilin virheellisen asennuksen vuoksi. Kohteessa on jo olemassa olevan lämmönsäätöautomatiikka, mutta se ei ole ollut toiminnassa.

Taulukossa 4 on esitetty vuosien 2009–2013 ajalta asiakkaalta saadut pelletin kulutus- ja hintatiedot. Lämpökontilla tuotetaan lämmitysenergiaa termisen lämmityskauden ajan. Asiakkaalta saatujen tietojen mukaan kattilan käynnissäolovuorokausia on keskimäärin 160 vrk eli 3840 tuntia vuodessa.

TAULUKKO 4. Kohteen pelletin kulutus ja hintatiedot vuosilta 2009–2013

Vuosi	pelletin kulutus (ton- nia)	pelletin hinta €/tonni(alv.0)	polttoaineen kustannus €/a	lämpöenergiankulu- tus MWh/a (Pellettikattilan vuo- sihyötysuhde 0,75)	huom.
2009- 2010	49,6	187	9275,2	235,6	uusi halli käyttöön otet- tu
2010- 2011	55,7	187	10415,9	264,575	
2011- 2012	64,1	187	11986,7	304,475	
2012- 2013	59,7	187	11163,9	283,575	

3.2 Lämpökontti

Lämpökontti on sijoitettu tuotantotilojen kannalta keskeiselle paikalle yrityksen toimitaloja. Kontti sisältää kattilan putkistovarusteineen sekä pumput, joilla lämpö jaetaan kaikille erillisille tuotantotilojen rakennuksille.

Lämmönlähteenä toimii Arimax bio 120sp (120 kW) -hakekattila, joka on muutettu pellettikäyttöiseksi. Polttoaineen muutoksella valmistajan mukaan kattilasta saadaan 150 kW huipputeho.

3.3 Puutteet ja korjausehdotukset

Kohteeseen tutustuminen aloitettiin tarkastelemalla suunnittelijoiden tekemiä rakennus piirroksia, joita löytyi vain uuden konepajahallin osalta. Kohteessa tehtiin tarkastuskierros, jossa havainnoitiin mahdolliset puutteet LV-järjestelmässä. Puutteet kirjattiin muistiin ja niitä verrattiin taloteknisiin piirroksiin sekä mitoistustietoihin. Parannusehdotuksiin tutkittiin kirjallisuutta ja aiempia tutkimuksia.

Kohteen hallikombinaation kokonaistarkastelussa havaittiin suurehkoja taloteknisiä puutteita, joiden korjaamisilla arvioitiin olevan kokonaisuutena energiansäästömahdollisuuksia.

3.3.1 Lämmönsäätöautomaatiikka

Lämmitysjärjestelmä on varustettu automaatiikalla, joka ei ole ollut toiminnassa, koska siinä on ollut asiakkaan mukaan ongelmia, ja ne on ratkaistu väliaikaisesti käsisäädöllä. Ongelmaksi tutkimuksissa paljastui lämmönsäädön 3-tieventtiilin virheellinen asennus. 3-tieventtiilin paluuhaaraan kytketty takaiskuventtiili, joka on väärinpäin ja ei näin ollen laske viileää paluuvettä sekoittumaan 3-tieventtiilillä kattilasta tulevan kuuman veden kanssa.

Lämmönsäätöautomaatiikan puuttuminen (kuva 8) kokonaisuudessaan on merkittävä energiansäästökohde. Rakennuksissa, joissa ollaan käsikäyttöisen lämmönsäädön varassa, lämpöä menee aina hallitsemattomasti hukkaan epätarkan säädön takia. Jo yksi aste liikaa huonelämmössä kasvattaa energian kulutusta noin 5 % [7.]

Lämmönsäätöautomaatiikan tarkoitus on laskea lämmitysverkostoon juuri sen verran lämpöä kuin vallitsevat sääolosuhteet vaativat. Oikeanlämpöisen menoveden ansiosta myös termostaatit lämmittimissä toimivat paremmin, ja pystytään hallitsemaan oleskeluvyöhykkeellä valitsevaa ilman lämpötilaa tarkemmin. Automaatiikan avulla pystytään tilojen lämmitystä käyttöaika painottamaan, jolloin kun tiloissa ei ole käyttöä, voidaan lämpötiloja pudottaa muutamia asteita, mikä vaikuttaa oleellisesti energian kulutukseen.

Korjausehdotuksena on takaiskun kääntäminen oikein päin, jotta vesivirtojen sekoittuminen 3-tie-venttiilissä olisi mahdollista ja näin ollen voidaan lämmönsäätöautomaatiikka kytkeä toimintaan.

3.3.2 Vesivirrat

Kohteen uuteen konepajahalliin on asennettu linjasäätöventtiilit jokaiselle kiertoilmakojeelle ja lämmityspattereissa on esisäädettävät patteriventtiilit, mutta niitä ei ole säädetty oikeaa vesivirtaa vastaavaksi. Säättämättömät vesivirrat aiheuttavat kohteen rakennuksissa epätasaisen lämmönjaon. Lämpökontin puolella ei ole ollenkaan linjasäätöventtiileitä, joista pystyisi säätämään jokaiselle neljälle rakennukselle tehontarpeen mukaan tarvittavan vesivirran.

Korjausehdotuksena verkostoon asennetaan lisää linjasäätöventtiileitä, jotta tehontarpeita vastaavat vesivirrat saadaan aseteltua. Lämmitysjärjestelmän pumpput ovat kaikki portaattomasti kierrosnopeussäädettäviä, joten niiden toiminta saadaan myös optimoitua, kun linjat on varustettu linjasäätöventtiilein.

3.3.3 Käyttöveden valmistus

Kohteen toimitilojen käyttöveden valmistus on toteutettu lämmityskautena sähköllä muualla kuin uudessa konepajahallissa. Kaikissa kolmessa rakennuksessa on pienet 50 litran lämminvesivaraajat, koska veden käyttö on erittäin vähäistä, vain käsienvesutarpeisiin. Uudessa hallissa on käyttövesikierukalla varustettu 1500 litran varaaja, jota ladataan lämmitysverkoston vedellä lämmityskaudella ja muulloin sähköllä.

Korjausehdotuksena on uuden konepajahallin lämminvesivaraajan uusi putkiston kytkentä (kuva 10). Varaajan paluuputki varustetaan Danfoss-paluuvesiventtiilillä, joka rajoittaa varaajan paluuveden lämpötilan asteikolla 25–65°C. Kytkennän etuna turha varaajan lämmittäminen jää pois. Varaajaan tuleva vesi on kattilaveden lämpöistä, ja sieltä poistuvan veden lämpötilaksi asetellaan esim. 40 °C.

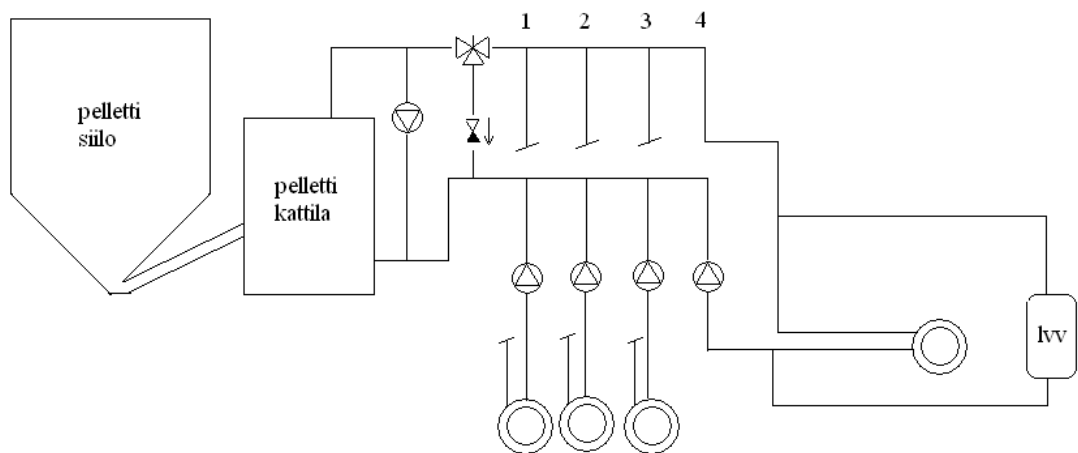
3.3.4 Lämpökontti nykytilanteessa

Nykytilanteessa lämpökontissa on virheellisiä ratkaisuja energiatehokkuuden kannalta. Lämmönsäätöautomaatiikka puuttuu kokonaisuudessaan järjestelmästä, shunttauksen yksisuuntaventtiili on väärinpäin sekä linjasäätöventtiilit puuttuvat jokaisesta lähtevästä linjasta.

Uuden konepajahallin lämpimän käyttöveden tuotanto on yhdistetty lämmitysjärjestelmään ja toimii siis pelletillä lämmityskauden ajan ja muun ajan käyttövesi valmistetaan lämpimän käyttöveden varaajassa olevalla termostaattiohjatulla sähkövastuksella. Suurimmaksi ongelmaksi tässä kytkennässä muodostuu putkiston kytkentä (kuva 9).

Kun lämmönsäätöautomaatiikka kytketään käyttöön, niin uuden konepajahallin lämpimän käyttöveden varaajan menisi ulkolämpötilan mukaan ohjattua menovettä, ja se ei ole mahdollinen ratkaisu, koska legionella-bakteerin kasvamisen ehkäisemiseksi on lämpimän käyttöveden lämpötilan oltava 55 °C.

Korjausehdotuksena on putkistokytkenän muokkaaminen siten, että uuden konepajahallin lämminvesivaraajalle saadaan ohjattua riittävän kuumaa vettä käyttöveden tuotantoon ja lämmitysjärjestelmän menovedet saadaan ohjattua ulkolämpötilan mukaan. Kohdassa 3.3.4 (kuva 10) on esitetty uusi kytkentäkaavio, joka ratkaisee kyseiset ongelmat.



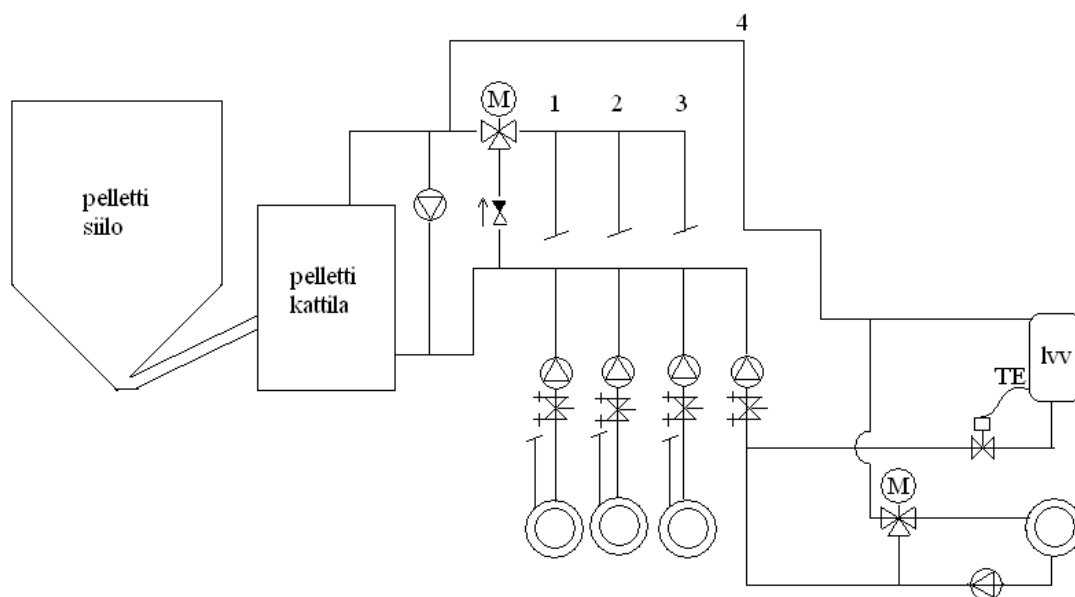
KUVA 9. Lämpökontin kytkentäkaavio nykyisessä tilanteessa

3.3.5 Lämpökontti päivitetystä tilanteesta

Yhteistyössä asiakkaan kanssa päädyttiin kuvan 10 mukaiseen lämmitysjärjestelmän kytkennän muutokseen. Jokaisen lähtevän linja paluupuolelle asennetaan linjasäätöventtiilit, jotta vesivirrat saadaan säädettyä. Edellä esitetyn kohdan (3.3.1) 3-tieventtiilin kytkennän virheet korjataan asentamalla venttiilin paluuhaaran takaiskuventtiili oikeinpäin.

Uudelle konepajahallille lähtevä (linja 4) haaroitetaan ennen 3-tieventtiiliä. Uuden konepajahallin päässä haaroitetaan lämminvesivaraajalle menevä kuuma vesi ja asennetaan toinen 3-tie-venttiilillä varustettu lämmönsäätöautomaatiikka, jolla saadaan ohjattua hallin lämmitys ulkolämpötilan mukaan. Kytkentä tarvitsee yhden lisäpumpun.

Lisäksi kohtuullisen pienen lämpimän käyttöveden kulutuksen vuoksi lämminvesivaraajan paluujohto varustetaan Danfossin paluuviesiventtiilillä, joka rajoittaa paluuviesin lämpötilan esim. 40 °C, ja näin ollen saadaan käyttöveden tarvitsemaa tehoa rajoitettua paremmin käyttötarpeiden mukaiseksi.



KUVA 10. Lämpökontin kytkentäkaavio uudessa tilanteessa

4 LVI-LAITTEIDEN ENERGIATALOUS

Nykyisellään kohteen energiatalous LV-laitteiston osalta on heikohkolla pohjalla tutkimuksissa havaittujen puutteiden perusteella. Kokonaisuudessaan rakennuksen lämmitysjärjestelmä lähes säätämätön; tilojen lämmityslaitteet on kuitenkin varustettu termostaattiohjauksella. Pelkästään termostaatein varustetut lämmityslaitteet eivät yksinomaan riitä energiatehokkuuden optimointiin tiloissa. Nykyisen verkoston uudistamisella ja säätötoimenpiteillä pystytään laskemaan kattilantehon riittävyys yrityksen uuden maalaamotilan lämmitykseen.

Putkiston lämpöhäviö laskelmiin käytettiin PAROC Calculus -teknisten eristeiden mitoitusohjelmaa, joka perustuu standardin SFS-EN ISO 12241 kaavoihin. Aloitustilanteessa automatiikan ollessa pois käytöstä mitattiin putkistojen meno- ja paluueden lämpötilat ja syötettiin lämpötilat ohjelmaan. Putkiston materiaali, koko ja pituus tiedot tarvittiin laskentaan, joten ne mitattiin piirustuksista ja kohteessa käytännön mittauksilla. Energian hinnaksi saatiin asiakkaalta 5 snt/kWh.

Seuraavissa taulukoissa on esitetty laskennalliset lämpöhäviöt ja niiden tuomat säästöt tehontarpeeseen sekä energiansäästöt euroina vuotuisesti.

TAULUKKO 5. Putkiston lämpöhäviöt eristetyille ja eristämättömälle putkelle, kun automatiikka ei käytössä (nykytilanne).

Putki- metrit	DN koko	keski- lämpötila meno/paluu	häviö eris- tämätön W/m	häviö eristetty W/m	T (h)	Φ eristetty	Φ eristä- mätön	säästö kW	säästö €/a
160	25	65	59,5	8,8	3840	1,408	9,520	8,112	1557,504
160	25	53	41	6,4	3840	1,024	6,560	5,536	1062,912
35	25	65	59,5	8,8	3840	0,308	2,083	1,775	340,704
35	25	53	41	6,4	3840	0,224	1,435	1,211	232,512
40	25	65	59,5	8,8	3840	0,352	2,380	2,028	389,376
40	25	53	41	6,4	3840	0,256	1,640	1,384	265,728
yht.						3,572	23,618	20,046	3848,736

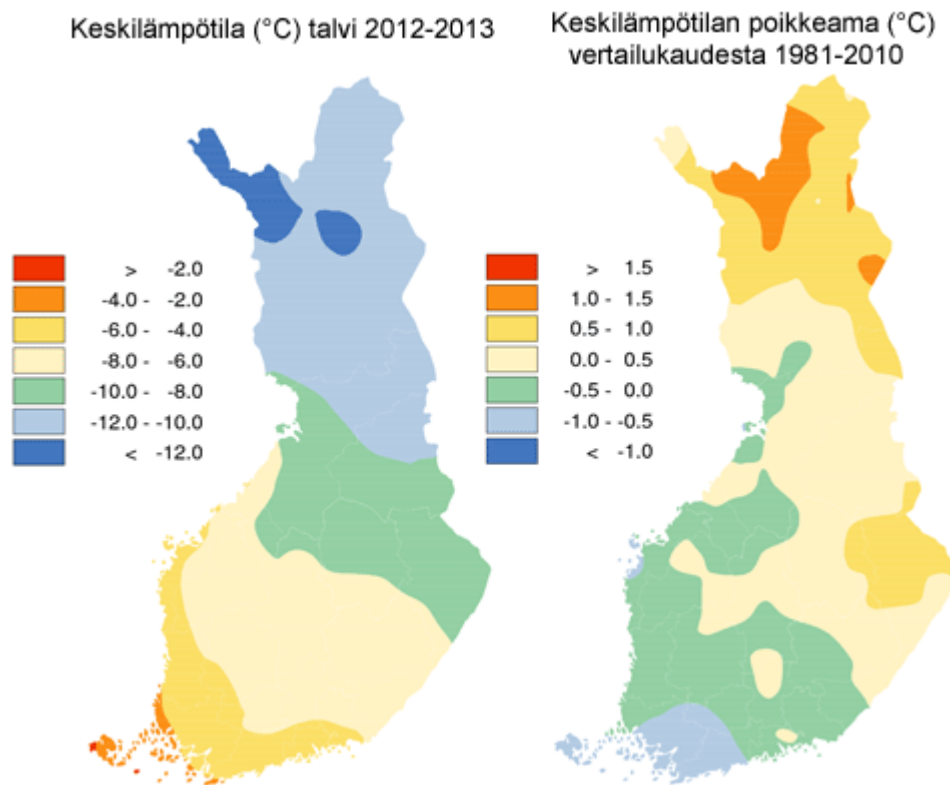
Uudessa tilanteessa korjausehdotusten mukaiset toiminnot on suoritettu. Automatiikalla ohjattu keskimääräinen menoveden lämpötila (42 °C) on katsottu automaatiojärjestelmän lämpökäyrästä. Paluuv veden keskimääräiseksi lämpötilaksi arvioitiin (29 °C), joka perustuu käytännön mittauksen lämpötila eroon (13 K). Ilmatieteenlaitoksen mukainen termisen lämmityskauden keskiulkolämpötila edellisen vuoden tilaston mukaan säävyöhykkeellä 2 n.-7 °C (Kuva 11) [9.]

TAULUKKO 6. Eristetyn ja eristämättömän putkiston lämpöhäviöt säätöautomaation ollessa toiminnassa

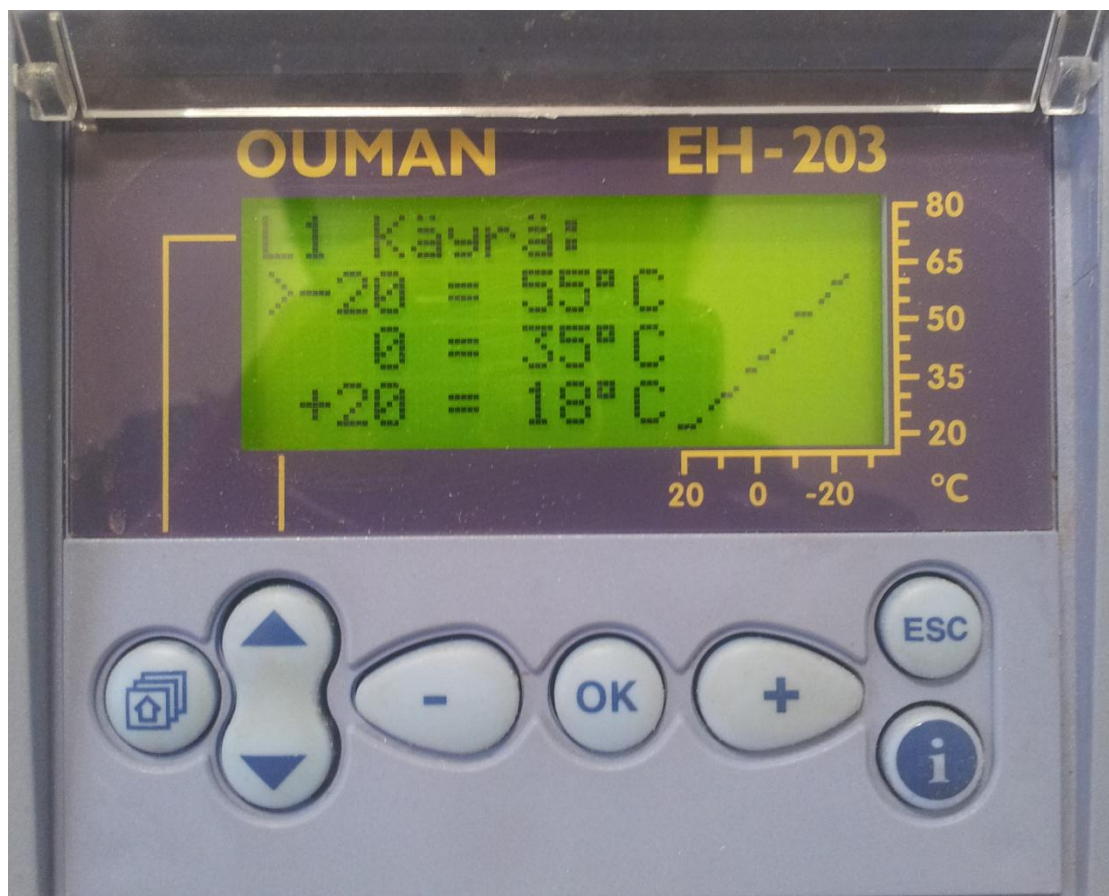
Putki- metrit	DN ko- ko	keski- lämpötila meno/paluu	häviö eris- tämätön W/m	häviö eristetty W/m	T (h)	Φ eristetty	Φ eristä- mätön	säästö kW	säästö €/a
160	25	42	25,6	4,2	3840	0,672	4,096	3,424	657,408
160	25	29	9,5	1,7	3840	0,272	1,52	1,248	239,616
35	25	42	25,6	4,2	3840	0,147	0,896	0,749	143,808
35	25	29	9,5	1,7	3840	0,0595	0,3325	0,273	52,416
40	25	42	25,6	4,2	3840	0,168	1,024	0,856	164,352
40	25	29	9,5	1,7	3840	0,068	0,38	0,312	59,904
yht.						1,3865	8,2485	6,862	1317,50

TAULUKKO 7. Lisäkytkentöjen lämpöhäviöt eristettynä ja eristämättömänä

Putki- metrit	DN koko	keski- lämpötila meno/paluu	häviö eris- tämätön W/m	häviö eristetty W/m	T (h)	Φ eris- tetty	Φ eristä- mätön	säästö kW	säästö €/a
60	25	65	59,5	8,8	3840	0,528	3,57	3,042	584,064
60	25	53	41	6,4	3840	0,384	2,46	2,076	398,592
yht.						0,912	6,03	5,118	982,656



Kuva 11. Ilmatieteenlaitoksen talven 2012-2013 keskilämpötilat



Kuva 12. Lämmönsäätimen lämpökäyrä

4.1 Energiansäästö

Energiansäästöjä voidaan saada aikaan seuraavilla toimenpiteillä: Vähentämällä tuhlausta, tuhlaus on ylimääräistä kulutusta, joka johtuu huolimattomuudesta, laiskuudesta tai ymmärtämättömyydestä. Poistamalla vikoja, viat ovat joko laitevikoja tai puutteellisia säätölaitteita ja niiden asetusarvoja. Rakennuksen korjauksilla, kuten esimerkiksi lisäeristys, ikkunoiden tiivistys, ilmanvaihdon tarpeen mukaisella käytöllä, lämmityskattiloiden –ja järjestelmien kunnostuksella sekä rakennusautomaatiolla.

Lämmitysjärjestelmien energiatalouden varmistamiseksi on huolehdittava jakeluhäviöiden minimoimisesta, lämmitystarpeen mukaisesta säädöstä ja ilmaislämpöjen hyödyntämismahdollisuudesta. Huonetilan tarkka säätö on tarpeen sekä energiatalouden että viihtyvyyden kannalta.[5.]

Taulukossa 8 on esitetty kohteen lämmitysjärjestelmän vesivirtamittaukset ennen ja jälkeen säätötoimenpiteiden. Vesivirrat mitattiin TA-CMI -vesivirtamittarilla. Vesivirtamittaustyön suorittamiseksi tutustuttiin kohteen rakennuspiirustuksiin, joista saatiin

vesivirrat uuden konepajahallin lämmityslaitteisiin. Kokoonpanohallin ja vanhanpajan tehontarpeiksi arvioitiin 15 W/m³.

TAULUKKO 8. Vesivirtaamien säätötaulukko

uusi halli	vesi	vesi+glykoli (90/10) uusi virtaama l/s	vesi+glykoli(90/10) mitattu virtaama l/s	vesi+glykoli (90/10) mitattu uusi virtaama l/s	Φ(kW)	suunniteltu Φ(kW)	ES. Ennen	ES. jälkeen
osa	suunniteltu virtaama l/s							
kiko 1	0,061	0,0625	0,12	0,066	5,412	5,124	8	2,5
kiko 2	0,061	0,0625	0	0,063	5,166	5,124	8	2,5
kiko 3	0,061	0,0625	0	0,06	4,92	5,124	10	3
kiko 4	0,061	0,0625	0	0,056	4,592	5,124	10	3,5
kiko 5	0,04	0,0410	0	0,037	3,034	3,36	10	2,5
kiko 6	0,061	0,0625	0	0,072	5,904	5,124	10	4
kiko 7	0,061	0,0625	0	0,073	5,986	5,124	10	3
kiko 8	0,061	0,0625	0	0,073	5,986	5,124	8	3
kiko 9	0,061	0,0625	0,11	0,072	5,904	5,124	8	2,5
patterit	0,091	0,0932	0	0,1	8,2	7,644 ei lsv		5
lw.	0,13	0,1332	0	0,12	9,84	10,92 ei lsv		5
iv-varaus							10	
yhteensä	0,749	0,7673	0,55	0,792	64,944	62,916		
kokoonpano	0,3571	0,3659	0,2690	0,317	25,994	30	10	9
vanhapaja	0,1786	0,1829	0,2710	0,191	15,662	15	10	9
tsto.	0,0536	0,0549	0,2800	0,061	5,002	4,5	10	2
kattilan tehontarve nyt yht			112,34		101,762	101,496		

4.2 Eristykset

Eristykset on oleellinen osa LV- laitteiston energiataloutta. Eristämistarve johtuu pääasiassa kahdesta syystä: pienennetään putkien tehohäviöitä, jotta lämpöä säästyisi ja vesi tulisi halutussa lämpötilassa käyttöpisteeseen, ja pienennetään lämpöhäviöitä, jotta tila, jossa putket kulkevat, ei lämpenisi tarpeettomasti. [5.]

Taulukoissa 5, 6 ja 7 on esitetty eristettyjen ja eristämättömien putkisto-osuuksien lämpöhäviöt ja niiden säästöpotentiaali sekä kattilan tehoon että euromääräiseen polttoaineen säästöön.

5 TULOKSET

Tuloksia tarkastellaan asiakkaan näkökannalta. Siinä määriteltiin ns. ennen ja jälkeen - tilanne, kuinka säästötoimenpiteet vaikuttivat kattilan tehontarpeeseen ja mitkä olivat euromääräiset säästöt vuotuisesti eriteltynä toimenpidekohtaisesti sekä kokonaistarkastelu toimenpiteistä.

Alkuperäisessä tilanteessa kattilan tehontarpeeksi laskettiin:

Kokonaisvesivirtaamien mukaan 112,34 kW

Maanalaisten siirtoputkistojen lämpöhäviöt 4,6 kW

Eristämättömien lämpöjohtojen lämpöhäviöt 23,6 kW

Kokonaistehontarve mitoitus tilanteessa 140,5 kW

Polttoaineen kulutus 3 vuoden keskiarvo n.11200 €/a

Parannusehdotusten mukaisilla korjauksilla lasketut tehontarpeet:

kokonaisvesivirtaamien mukaan 101,8 kW

maanalaisten siirtoputkistojen lämpöhäviöt 4,6 kW

eristettyjen lämpöjohtojen lämpöhäviöt 1,4 kW (säätöautomaatiikka toiminnassa)

Lisäkytkentöjen lämpöhäviöt 0,9 kW

Kokonaistehontarve mitoitus tilanteessa 108,7 kW

Polttoaineen kulutus arvio n. 7200 €/a

Parannusehdotusten mukaisilla korjauksilla pystyttiin vähentämään kattilantehontarvetta laskennallisesti: $140,5 \text{ kW} - 108,7 \text{ kW} = 31,8 \text{ kW}$

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa Pel-Tuote Oy:n konepajahallikombinaation lämmitysjärjestelmän energiatehokkuutta. Lämmitysjärjestelmän parannusehdotusten perusteella laskettiin lämmityskattilan huipputehon tehontarve, jota tarvitaan kartoitettaessa lämmityskattilan tehon riittävyyttä yritykseen rakennettavan uuden maalaamotilan lämmitykseen.

Hallien lämmöntuotto on hoidettu pellettikattilalla ja siihen kytketyillä vesikiertoisilla pattereilla sekä kiertoilmakojeilla. Lämpötilamittauksista päätellen hallien lämpötilakerrostuminen ei ole merkittävän suurta, mutta tuloksia vääristää käyttäjäkunnan tapa viilentää halleja pitämällä suuria nosto-ovia auki.

Ongelmakohtien tutkimuksissa suurimmat ongelmat olivat järjestelmän kokonaisvaltainen säätämättömyys ja eristeiden puuttuminen kokonaisuudessaan lämmitysjärjestelmän runkojohdoissa. Parannusehdotuksista laskettiin uusi energiankulutus euro-määräisenä vuositasona ja kattilantehontarve.

Taulukoiden 5, 6, 7 ja 8 perusteella saatiin seuraavanlainen energiankulutuksen arvio:

$$11200 \text{ €} - 7200 \text{ €} = 4000 \text{ €}$$

Energiansäästö vuosittain 4000 €

Kattilantehontarvelaskelmat suoritettiin laskemalla jokaiselle hallille tehontarve ja säätämällä verkosto huipputehoa vastaaville virtaamille. Taulukoista 5, 6, 7 ja 8 laskettiin seuraavanlainen huipputehon tarpeen säästö:

$$140,5 \text{ kW} - 108,7 \text{ kW} = 31,8 \text{ kW}$$

Kattilan huipputehontarpeen säästö 31,8 kW

LV-laitteiston parannus ehdotusten mukaisilla korjauksilla saatiin asiakkaan näkökannalta erittäin merkittävät säästöt lämmitysenergian kulutukseen ja kattilan huipputehontarpeeseen. Asiakas päätyi teettämään kaikki parannusehdotusten mukaiset korjaukset lämmitysjärjestelmään, koska siitä merkittävä etu yritykseen rakennettavan uuden maalaamotilan lämmitykseen tarvittavan lisälämmityskattilan kokoon sekä lämmitykseen tarvittavan polttoaineen kulutukseen. LV-laitteiston parantamisella on myös muita etuja joita ei tässä tutkielmassa huomioitu, mutta niitä pohdittiin yhdessä asiakkaan kanssa. Näitä etuja on muun muassa työntekijöiden viihtyvyyden paraneminen, lämpöolojen ollessa paremmin hallinnassa.

LÄHTEET

- 1 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012. Rakennusten sisäilmas-
to ja ilmanvaihto. Verkkodokumentti.
http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf Päivi-
tetty 2012. Luettu 13.3.2013
- 2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2007. Kiinteistöjen vesi –ja
viemärlaitteistot. Verkkodokumentti.
http://www.finlex.fi/data/normit/28208-D1_2007.pdf
Päivitetty 2007. Luettu 13.3.2013
- 3 TA 2013. Patteriverkoston säätäminen. Verkkodokumentti.
http://www.vantalvi.fi/uploads/files/TA_KIRJA__2_2011.pdf Päivi-
tetty 13.3.2013. Luettu 13.3.2013
- 4 Motiva 2013. Lämmitysverkoston perussäätö. Verkkodokumentti.
www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/lammitysverkoston_peru
ssaato Päivitetty 13.3.2013. Luettu 13.3.2013
- 5 Rakennusten lämmitys, Olli Seppänen 2001
- 6 Kalliomäki, P. 2007. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Ra-
kennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeenlaskenta
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=131112&lan=sv>
luettu 25.3.2013
- 7 Ouman 2013. Lämmönsäätö. Verkkodokumentti.
<http://www.ouman.fi/fi/lammonsaato/> Päivitetty 27.3.2013 luettu
27.3.2013
- 8 Teollisuusrakennusten ilmastointi ja lämmitys NESTE 1990 osa 2
s.33)
- 9 Ilmatieteenlaitos. Säädata. Verkkodokumentti.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/talvitilanne> Päivitetty 15.4.2013. Luettu
15.4.2013

LIITE 2(1).

Monisivuinen liite

LIITE 2(2).

Monisivuinen liite

LIITE 2(3).

Monisivuinen liite